

FÜZYON

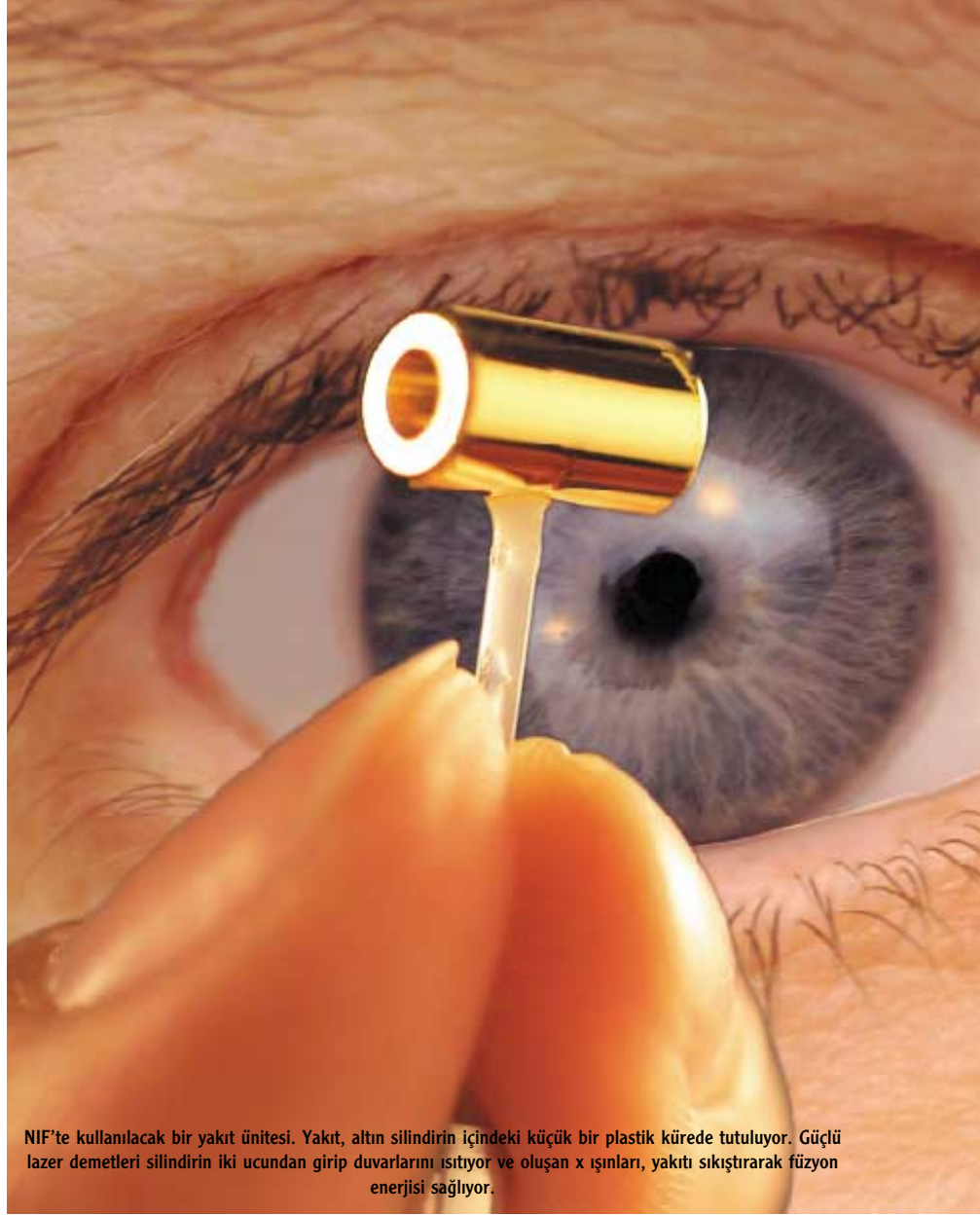
ENERJİSİNE KESTİRME YOL

Füzyon bir türlü erişilemeyen lezzetli bir havuç gibi bilim adamlarını peşinde koşturmaya devam ediyor. Son 40 yılda bu sınırsız enerji kaynağı düşünün gerçekleşmesi yolunda hayli yol kat edildi; ama küçük ya da orta büyüklükte deney reaktörleri saniyenin kesirleri süresince füzyon gerçekleştirebilmek için hala ürettiklerinin çok üzerinde enerji tüketiyorlar. Hedefse, hafif atomları sürekli olarak birleştirerek ticari ölçekte ve maliyette enerji üretmek. Bu hedef için farklı iki kulvarda yarışan iki rakip yöntem, yarışın son turları için dev makineler geliştirirken, sürpriz bir yarışçı, yeni bir modelle ipi göğüsleme hazırlığında.

Insanlık, yıldızları taklit etmek hevesinden vazgeçmiyor. Yıldızların muazzam sıcaklıktaki merkezlerinde gerçekleşen süreci yeryüzünde gerçekleştirerek bol, ucuz ve temiz bir enerji kaynağına kavuşmak, bilim adamları ve teknisyenlerin düşlerini süslüyor. Yapılacak şey basit: Ağır bir atomu parçalamak yerine, iki hafif atomu birleştirerek daha ağır bir çekirdek elde etmek. Bunun için hidrojenin görece ağır izotopları olan döteryum (D^2) ve trityum (T^3) kullanmak yeterli. Döteryum, suda bol bulunan bir madde. Trityum ise doğada var olmamakla birlikte, bolca bulunan ve reaktör duvarına konan lityum elementince füzyon tepkimesi sırasında bolca üretiliyor. D ve T'nin birleşmesi, her füzyon başına 17.6 milyon eV (elektron-volt) enerjinin açığa çıkmasını sağlıyor. Bu, füzyonu bilinen ve tasarlanan her türlü enerji sağlama yöntemi arasında en verimli yöntem haline getiriyor. Üstelik sağlanacak enerji görece sorunsuz. Çünkü atomu parçalama (filyon) yönteminde olduğu gibi bazıları milyarlarca yıl ışınım yayabilecek çok sayıda radyoaktif artık ürün yok. Ürün, doğal olarak eğer bulunan ve pek çok kullanımı olan helyum gazı. Tek sakınca, helyumla birlikte ortaya çıkan serbest nötronların, reaktör duvarlarını radyoaktif hale getirmesi. Ancak bu kusur da, reaktör yapımında düşük atom ağırlıklı malzemeler kullanılarak hafifletilebiliyor.

Füzyon enerjisinin sorunu, bu tepkimenin en az 50 milyon °C sıcaklıkta gerçekleştirilebilmesi. Bu da füzyonun kontrollü koşullarda sağlanması hedefinin önüne bilimsel ve teknik güçlükler çıkartıyor. Şimdilik böylesine bir sıcaklığı üretmek için harcanan enerji, füzyon sonucu elde edilebilen enerjiden hayli fazla. Hedef, bu durumu tersine çevirmek.

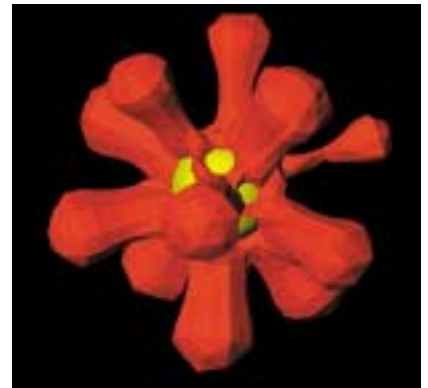
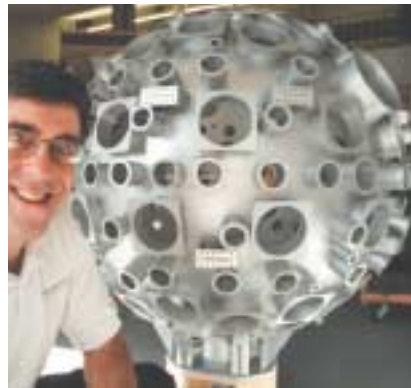
Bu hedefe ulaşmak için geleneksel olarak iki yöntem uygulanıyor. Manyetik Tutulumlu Füzyon Enerjisi (MFE) denen yöntemde, genellikle Tokamak denen simit biçimli (toroidal) tepkime odalarında bir santimetreküpte milyarda bir gram yoğunluğunda, yüzlerce metreküp plazma (elektronlarını yitirmiş döteryum ve trityum çekirdekleriyle, serbest elekt-



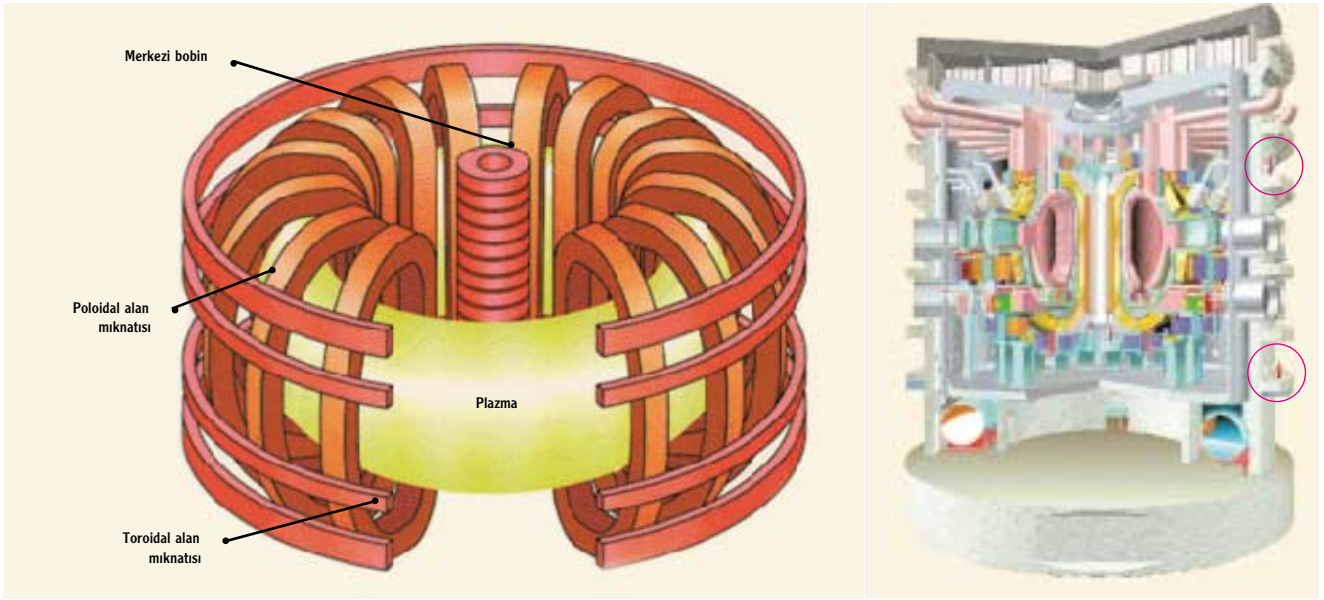
NIF'te kullanılacak bir yakıt ünitesi. Yakıt, altın silindirin içindeki küçük bir plastik kürede tutuluyor. Güçlü lazer demetleri silindirin iki ucundan girip duvarlarını ısıtıyor ve oluşan x ışınları, yakıtı sıkıştırarak füzyon enerjisi sağlıyor.

ronlardan oluşan gaz), güçlü mıkna-tıslarla reaktörün duvarına değme-den (soğumaması için), 10 atmosfer basıncının biraz altında boşlukta asılı tutuluyor ve füzyon sıcaklığına kadar ısıtılıyor. Hedef, plazmanın sürekli yanarak füzyon sağlaması ve fırınlardaki gibi yakıt azaldıkça yenisi eklene-rek füzyonun sürdürülmesi. Füzyon

sonucu ortaya çıkan alfa parçacıkları (helyum çekirdekleri) yakıtı yeniden ısıtıyor. Serbest kalan nötronlar da reaktör duvarına çarpıp duvarı ısıtıyor. İşte füzyon enerji santrallerinde, nötronların reaktör çeperine yüklediği ısının, bir ısı değıştirgeci yoluyla önce buhar ve türbinlerle de elektrik enerjisine çevrilmesi hedefleniyor.



Ulusal Ateşleme Tesis'i'nin (NIF) modeli (solda). Sağdaki şekilde Kırmızıyla gösterilen x ışınları, 1 g üzerinde 7500 trilyon watt güç uygulayarak yakıtı (sarı) sıkıştırıyor. Karşı sayfada 10 metre çapında, 300 ton ağırlığındaki NIF hedef odasının içi görülüyor.



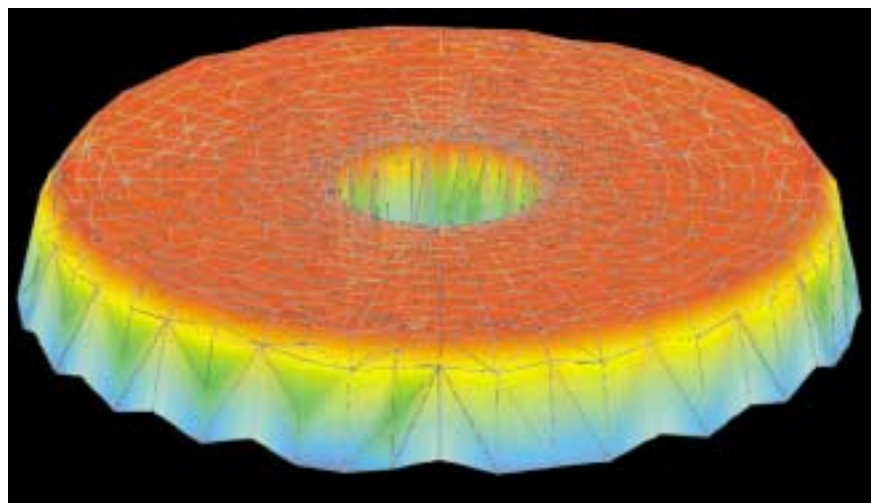
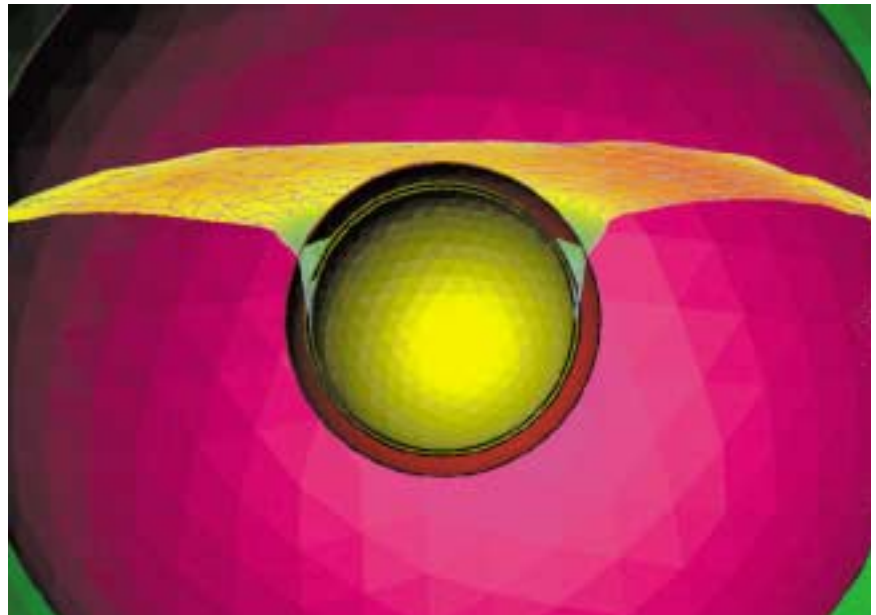
Bir tokamak. Füzyon makinesi içinde plazma, güçlü mıknatıslarla oluşturulan bir alan sayesinde simit biçimli reaktör odasının çeperlerine değmeden boşlukta asılı tutularak ısıtılıyor (Solda). Gerçekleşme aşamasına yaklaşan (küçültülmüş) Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü ITER'in çizimi. Kırmızı daire içinde görünenler reaktörde görevli personel (sağda).

Hareketsiz Tutulum Füzyonu (ICF) denen ikinci yöntemdeyse, D-T buzundan yapılmış küre biçimli birkaç milimetre çapında katı bir kabuk, saniyenin yüz milyonda biri kadar bir süre içinde 100 milyar atmosferlik basınç altında, santimetreküpüye yüzlerce gram yoğunluğa kadar sıkıştırılıyor. Ateşlenme, yakıt bilyeciğinin merkezinde küçük bir noktada gerçekleşiyor ve termonükleer yanma yakıtın geri kalan kısmını tüketiyor. Reaksiyon saniyenin 10 milyarda biri kadar sürüyor. Bu yöntemde de hedef, içten patlamalı motorlarda olduğu gibi bu mikropatlamaları sürekli bir dizi halinde gerçekleştirmek.

MFE yöntemi üzerinde yaklaşık 40 yıldır araştırma ve deneyler sürdürülmesine karşın, ABD ve Avrupa'daki en gelişkin deneysel füzyon makinelerinde elde edilebilen maksimum enerji düzeyleri, 0.7 saniye gibi "uzun" bir füzyon süresi sonucu erişilebilen 11 megawatt ve 1 saniyelik bir füzyonla erişilebilen 16 megawatt. Gerçi bu üretim düzeyleri, girdi olarak kullanılan enerji düzeylerinin çok altında, ama bu ve benzeri çalışmalar, sürekli bir yanlışla enerji girdisinin üzerinde net bir füzyon enerjisi sağlamaya yö-

nelik yeni makineler tasarımına ışık tutuyor. Halen ITER (Uluslararası Termonükleer Deney Reaktörü) adlı bir projenin, büyük maliyeti nedeniyle küçültülmüş bir modelinin yaşama geçi-

rilmesine çalışılıyor. Üçte bire indirilmiş faturasıyla 3 milyar dolara mal olması beklenen "ITER light", orijinal büyük tasarımdaki sürekli yanma hedefini de terk etmiş bulunuyor. Ancak



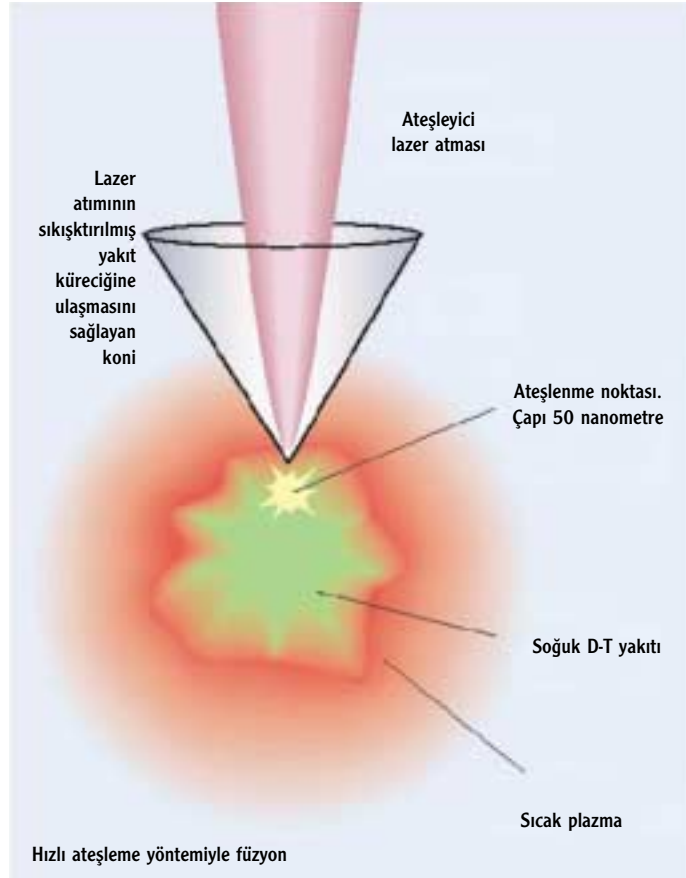
ABD'deki Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda inşa edilmekte olan Ulusal Ateşleme Tesisi NIF'te gerçekleştirilecek füzyon süreci. Çok güçlü lazerlerle ısıtılan yakıt kabuğu (altta), Merkezde küçük bir "sıcak nokta" (üstte) içindeki atomları birleştirerek enerji açığa çıkartacak.

üretilen alfa parçacıklarının, füzyon için gerekli ısının üçte ikisini sağlayacağı, bu yolla dışarıdan enerji girdisine daha az gereksinim duyulacağı hesaplanıyor. 2000 metreküp yerine yaklaşık 800 metreküp plazma alacak reaksiyon odasında 500 saniye füzyonla 400 megawatt enerji üretilmesi hedefleniyor. Halen Japonya, Fransa ve Kanada ITER'e evsahipliği yapmak için kıyasıya bir rekabet içinde. ITER'in yanısıra, toroidal biçimli reaktör odaları yerine, plazmayı daha etkili bir biçimde tutan küresel tokamak ve sferomak gibi reaktör modelleriyle de umut verici gelişmeler sağlanmış bulunuyor.

ICF yöntemi ise, görece yeni. Bu yöntem, yüksek güçte bir lazer ya da iyon demeti biçiminde bir "sürücünün" yakıtı sıkıştırıp ateşlemesi temeline dayanıyor. Bu amaç için ABD ve Fransa, yakıtı birkaç nanosaniye içinde (1 nanosaniye, saniyenin milyarda biri) 2 megajoule (2 milyon joule) enerjide ışık atmaları oluşturacak, stadyum büyüklüğünde lazerler geliştiriyorlar. Muazzam güçteki bu makineler, bir birim lazer enerjisiyle 15 birim füzyon enerjisi elde etme hedefine göre tasarlanmışlar.

"Hızlı ateşleme" ise, ICF yönteminin yeni bir biçimi. Avantajı, çok daha yüksek bir füzyon enerjisi çıktısı sağlamanın yanı sıra, bilinen ICF yönteminin hem sürücü, hem de yakıt bilyeciği için gerek duyduğu hassas simetriye gerek duymaması. Dolayısıyla hızlı ateşleme yöntemi hâlâ bir kurgu evresinde olmasına karşılık, bu özel avantajları sayesinde ICF enerji santrallerini çekici projeler haline getiriyor.

Halen geliştirilmekte olan megajoule lazer projeleri, hem sürücü demetin, hem de yakıt bilyesinin küresel geometrisinin olağanüstü düzgünlükte olmasını gerekli kılıyor. Bu düzgünlük, yakıt bilyeciğinin merkezindeki sıcak füzyon bölgesinin oluşturulabilmesi için şart. Bu düzgünlük-



ten en ufak bir sapma yakıt üzerinde asimetric bir güç oluşturarak, gereken "içe patlama" (implosion) olayının gerçekleşmesini engelliyor. Gerçi tek bir yakıt bilyesiyle yapılan deneylerde gereken düzgünlük sağlanabiliyor; ama saniyede 10 ateşleme olayının gerekeceği bir ICF enerji santralinde bu düzgünlüğün sürekli sağlanması ve korunması, aşılması gibi görünen teknik ve ekonomik sorunlar ortaya çıkarıyor.

Hızlı ateşleme yöntemi ise yakıt sıkıştırma ve sıcak nokta oluşturma süreçlerini birbirinden ayırarak bu güçlüklerin çevresinden dolaşiyor. Bir lazer ya da iyon demeti, önce yakıt bilyesini sıkıştırıyor. Daha sonra saniyenin yüz milyonda biri süreyle uygulanan 10 petawatt (10 katrilyon watt) gücünde bir lazer atması (pulse), yakıt üzerine odaklanarak sıkışmanın en üst noktaya ulaştığı an kenarında bir sıcak nokta oluşturuyor. Isıtma, lazerin ışık hızına yakın bir hıza kadar ivmelendirdiği elektronlarca gerçekleştiriliyor. Daha yeni bir tasarımdaysa bu amaç için protonların kullanılması da düşünülüyor.

Hızlı ateşleme yönteminin fazladan bir avantajı, sıradan ICF yöntemine

göre beş kat daha düşük yoğunlukta yakıt kullanması. Sıkıştırma işlemi için daha az enerji kullanılabilmesi, füzyon enerji çıktısını, girdi olarak kullanılan enerjinin 300 katına yükseltebiliyor. Azalan yakıt basıncı ve merkezi sıcak noktanın gerekmemesi, yakıt bilyeciğinin küresel düzgünlüğüyle sürücü basıncının sabitliği için duyulan gereksinimleri hafifletiyor.

Çekici avantajlarına karşın bu yöntemin sorunu da hızlı ateşleme yönteminin fiziğinin, sıradan ICF'deki kadar olgunlaşmamış olması. Yöntemin yaşama geçirilmesi için önce relativistik lazer-plazma etkileşimleriyle megavolt (milyon volt) enerji düzeylerindeki elektronlarla giga-ampere (milyar amper) akımların yayılması süreç-

leri üzerinde daha fazla araştırma ve deneyler yapılması gerekiyor. Kısa lazer atmasından sıkıştırılmış plazmadaki sıcak noktaya enerji transferinin düzeyi çok önemli bir parametre. Bu parametrenin değeri kesin olarak ölçülebilmemiş, hatta önerilebilmiş değil. Ama füzyonun gerçekleşmesi için en az %20 düzeyine ulaşması gerekiyor.

R. Kodama ve arkadaşlarıncı gerçekleştirilen ilk deneyler umut verici. Ekip, modelin küçük ölçekteki ilk denemesinde yüzde yirmi enerji transferi barajının aşıldığı düşüncesinde ve bu yıl içinde gerçekleştirilecek daha büyük ölçekli düzeneklerle, sürekli füzyon hedefine daha da yaklaşılacağı umudunu taşıyor. Ancak uzmanlar, öteki yöntemlerle sürekli füzyon elde etme denemelerinde karşılaşılan sorunlara işaret ederek, bu yaklaşımın umut verici olduğunu, ancak daha ileri düzeyde araştırma ve deneylerle desteklenmediği sürece spekülasyon oluşturmaktan öteye gidemeyeceği uyarısında bulunuyorlar.

Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Nature, 23 Ağustos 2001
Nature 5 Ekim 2000
<http://www.llnl.gov/llnl/001index/06news-index.html>
<http://www.ccs.lanl.gov/CCS/CCS-4/imagegall/inertial.htm>